

テナガエビ科及びクルマエビ科エビの生態に及ぼす 環境要因の影響に関する研究

著者	八木 宏樹
号	383
発行年	1989
URL	http://hdl.handle.net/10097/16324

氏 名(本籍) 八 木 宏 樹

学 位 の 種 類 農 学 博 士

学 位 記 番 号 農 第 3 8 3 号

学位授与年月日 平 成 2 年 1 月 1 8 日

学位授与の要件 学位規則第 5 条第 2 項該当

学 位 論 文 題 目 テナガエビ科及びクルマエビ科エビの生
態に及ぼす環境要因の影響に関する研究

論 文 審 査 委 員 (主 査)

教授 野村 正

教授 藤尾 芳久

教授 谷口 旭

論文内容要旨

自然環境条件下では環境要因の制限因子は相互作用を伴って水産生物に作用すると考えるのがごく普通である。たとえばクルマエビが温度が高くかつ塩分が低下する時期に産卵期のピークを迎えたり、クルマエビ類の漁獲がしばしば降雨量と関係があったりすることなどは、自然界において環境要因の複合影響があるということを如実に示した例である。

しかしながら、従来、ややもすると単発的に、あるいは部分的に自然環境要因をとらえがちであったことから、本論文では今後の完全管理的増養殖の展開等に役立つ基礎資料とすることを目的とし、オニテナガエビ (*Macrobrachium rosenbergii*)、テナガエビ (*M. nipponense*)、ヤマトテナガエビ (*M. japonicum*)、ヨーロッパスジエビ (*Palaemon serratus*)、及びクルマエビ (*Penaeus japonicus*) を例にとり、三次元立体モデルなどを用いて、幼生の各成長段階における環境要因、とくに温度、塩分、pHなどが、成長、生残、呼吸、排泄などの生態・生理に及ぼす複合影響を解析した。

1. 成長と生残

M. rosenbergii の変態可能域は Table 1 に示すとおりである。50%以上の変態率を示すのは、塩分13.73～33.24‰、温度29.1～31.9℃の範囲内の11の組合わせ条件下であり、適温域は塩分13.73‰レベルで最も広い。幼生の成長速度と温度との関係は、 Q_{10} 値として算出でき、その値は13.73‰から33.24‰の条件下で1.39～2.47である。変態した幼生の大きさ(頭胸甲長)は、塩分の違いによる影響を受けないが温度によって有意な差を生ずる。

M. nipponense の幼生については Table 2 に示すとおりである。50%以上の変態率を示すのは、塩分7.14～21.50‰、温度23.8～34.9℃の範囲内の12の組合わせ条件下であり、7.41‰において適温域が最も広くなる。 Q_{10} 値は7.41‰から28.36‰で1.63～2.84である。

M. japonicum の幼生については Table 3 に示すとおりである。50%以上の変態率を示すのは、塩分27.64‰-温度28.9℃及び塩分34.23‰-温度28.9℃の2つの組合わせ条件下であり、適温域は27.64‰レベルで最も広くなる。 Q_{10} 値は13.91‰から34.32‰において1.12から1.47である。

孵化直後の *P. serratus* 幼生は、各脱皮サイクルにおける生残率及び各幼生ステージ期間 (intermolt cycle) を通じて観察し、各幼生ステージごとの intermolt cycle 及び生残率、さらに最終的な変態率と成長率を求めた。ポストラバは24の温度-塩分の条件下で出現し、各 intermolt cycle での生残率に対しては温度、塩分の影響だけではなく2要因の複合影響が見られた。50%以上の変態を可能とする温度-塩分の範囲は幼生ステージを経るごとに縮小し、低温度-低塩分域及び高温度-高塩分域において、とくに幼生の生残率の減少が激しいという結果を得た。逆に低温度-高塩分域及び高温度-低塩分域についてはどの幼生ステージも比較的強い耐性を示した (Fig. 1)。

各幼生ステージについて50%以上の生残率を可能とする温度範囲は第3ステージまでは12.3

℃から30.5℃と広く、第4ステージでは14.0℃から30.3℃、第5ステージまでは14.1℃から30.3℃、最終的に変態時の50%生残域については14.7℃から30.0℃であった。この第1回目の脱皮時と変態時における50%生残域の $T \cdot S(50)$ を比較すると約半分に減少している。

最初の変態が観察されたのは25℃-19‰及び21℃-25‰の条件下で15日目であった。全ステージを通じた成長速度の Q_{10} 値を求めると塩分19‰レベルで最小値1.76、43‰で最大値2.52を示した。

P. japonicus ゾエア幼生については Table 4 に示すとおりである。50%以上の変態率を示すのは、塩分25.0~48.0‰、温度13.0~33.0℃の範囲内の24の組合わせ条件下で、Macrobrachium や Palaemon に比べ高塩分域及び高温域に広がる。ミシス幼生については Table 5 に示すとおりである。50%以上の変態率を示すのは、塩分25.0~48.0‰、温度18.0~33.0℃の範囲内の12の組合わせ条件下であり、ゾエア幼生に比べ50%生残域は小さくなる。成長速度に関する Q_{10} 値はゾエア幼生では1.27~1.31であり、塩分の上昇に応じて小さくなるが、逆に、ミシス幼生では1.89~2.54で塩分の上昇とともに大きくなる。実験を行った各種エビ幼生の生残率(Y)と温度(T)-塩分(S)の関係は $Y = a + b \cdot T + c \cdot S + d \cdot T^2 + e \cdot S^2 + f \cdot T \cdot S$ で表すことができる。

2. 呼 吸

P. serratus の酸素消費量についての結果は Table 6 に示すとおりである。第1から第6ステージにいたるゾエア幼生において、1個体あたりの酸素消費量Qはゾエアのステージ段階が上がる(もしくは乾重量が増すごと)に指数関数的に上昇し、 $Q = a \cdot W^b$ にあてはまるが、酸素消費量Q(単位乾重量当りの酸素消費量)とステージ段階の間には有意な相関は見られない。しかしながら最も高い酸素消費量はすべての温度-塩分の条件下において、第4ステージの幼生に見受けられた。酸素消費量の最大値が第4ステージで見られるのは、この段階において大幅な栄養変化が幼生体内で生ずることが原因であると思われる。

温度と酸素消費量に関しては一次式 $Q = a' + b' \cdot T$ があてはまる。 Q_{10} 値については発達段階及び塩分の変化に応じて1.50から2.58の間で変動する。酸素消費量は低塩分レベルと高塩分レベルにおいて低下する傾向にある。塩分と酸素消費量の関係は二次式 $Q = a'' + b'' \cdot s + c \cdot S^2$ の式で表すことができる。幼生期間の全6ステージを通じて同種幼生の酸素消費量の最大値は温度29℃、塩分25から31‰の組合わせで認められた。

P. japonicus ポスラーバの酸素消費量(Q)と温度の関係は Table 7 に示すとおり P. serratus よりも急勾配となり、 $Q = a \cdot e^{b \cdot T}$ の式があてはまり、塩分との関係は $Q = a' + b' \cdot S + c \cdot S^2$ の式で表すことができる。 Q_{10} 値については温度16~28℃、塩分25~48‰の範囲では1.52~2.41となるが、同種にとって低塩分域である19‰では0.85であった。同種稚エビにおいては酸素消費量についての温度の影響は認められたが、塩分の影響は認められなかった。

3. アンモニア排泄

P. japonicus のポストラバ及び稚エビにおけるアンモニア排泄量(E)はいずれのpHレベルにおいても温度－塩分の複合影響を受ける。特に塩分については、塩分の上昇に応じて排泄量の減少がみられ、 $E = a + b \cdot S$ の式にあてはまる。また、異なる温度－塩分の組み合わせ条件下において低温度－高塩分域で低く、高温度－低塩分域で高い傾向が見られた。排泄量の時間的変化を各温度－塩分－pHの組み合わせ条件下で比較すると、第1には、ある値から数時間に急激な減少が起こってから安定するタイプ、第2には、最初から徐々に排泄量が減少するタイプ、第3は実験開始後から24時間後までほぼ一定の排泄量を保つタイプ、第4には、ある値から数時間後に上昇が起こり安定するタイプというように、4タイプが個体間に存在することがわかった。アンモニア排泄量に関する Q_{10} 値は塩分が低いほど小さく、また、排泄量は測定した3 pH間ではpH6.8> pH8.8> pH7.8の順であった。

4. 考 察

成長・生残に関する実験で得られた結果を Response surfaces method により解析し、日本産のPalaemon 4種と比較した結果を Fig. 2 及び Fig. 3 に示す。P. serratus はすべての幼生期間を通じて他の種と比べてより高塩分域を好み、温度についてはわずかながら低い温度を好むが、塩分耐性については P. pacificus、P. ortmanni と比較的似た範囲にあった。また、50%以上の生残域の $T \cdot S(50)$ を比較すると、P. macroductylus (481.05)> P. serrifer (326.30)> P. serratus (243.6)> M. nipponense (157.10)> P. ortmanni (99.47)> M. rosenbergii (95.56)> P. pacificus (70.53)> M. japonicum (7.01) の順となり、この順で温度－塩分に対する耐性範囲が広いことを意味する。Palaemon 5種とMacrobrachium 3種の成長に及ぼす温度－塩分の影響を比較するために、Table 8に各塩分レベルにおける Q_{10} 値の比較結果を示す。この結果から5種のPalaemon ではMacrobrachium 属と比較して、いずれも変化の幅が小さいことがわかる。とりわけ、P. serratus の幼生の第1ステージではどの塩分に対しても1.49から1.58ときわめて安定している。

5. ま と め

一連の実験を通じて分ったことは、(1) 実験を行った生物では温度－塩分、あるいはこれにpHを加えたものについて、生残・成長の最適組み合わせ条件が存在し、Palaemonidae と Peneidae、また、Palaemonidae においては属間の相違が、同属中においては種間の相違がみられた。さらに同種内では成長段階によりその範囲は変化する。(2) 最適条件については、成長についてのそれと、生残についてのそれが存在し、両者には異なるオプチマルポイントが存在する。これは実験を行ったすべての生物に共通する。(3) 呼吸量及びアンモニア排泄量は温

度、塩分、pHについて直線的にあるいは指数関数的に変化するので、これらによる生物の最適環境条件は特定できないが、成長もしくは生残率の実験により求められた最適条件範囲下における量をもって適正呼吸量、あるいはアンモニア排泄量とすることができる。(4)得られた結果は各エビの自然界における生態的特徴をよく反映した。

Table 1. Combined effects of Temperature-Salinity on the metamorphosis rate and the planktonic larval period in zoeal prawn Macrobrachium rosenbergii.
[PM]: Metamorphosis rate in % , [T]: Larval period in days

Temperature (°C)	S a l i n i t y (‰)				
	8.13	13.73	20.05	27.10	33.24
23.0 [PM] [T]	0.0 -	0.0 -	0.0 -	0.0 -	0.0 -
26.1 [PM] [T]	24.0 37.8	40.0 43.1	30.0 34.7	0.0 -	0.0 -
29.1 [PM] [T]	40.0 32.4	78.0 24.7	74.0 29.8	72.0 26.8	42.0 35.5
30.5 [PM] [T]	44.0 36.6	86.0 27.5	82.0 24.6	74.0 26.8	62.0 27.2
31.9 [PM] [T]	44.0 25.1	88.0 24.9	78.0 25.1	66.0 24.2	52.0 23.4
35.0 [PM] [T]	0.0 -	4.0 27.0	12.0 28.0	0.0 -	6.0 28.0

Table 2. Combined effects of Temperature-Salinity on the metamorphosis rate and the planktonic larval period in zoeal prawn Macrobrachium nipponense.
[PM]: Metamorphosis rate in % , [T]: Larval period in days

Temperature (°C)	S a l i n i t y (‰)				
	7.14	14.27	21.50	28.36	35.23
23.8 [PM] [T]	64.0 23.1	38.0 22.6	0.0 -	0.0 -	0.0 -
26.0 [PM] [T]	76.0 18.0	86.0 18.0	52.0 20.2	12.0 21.8	2.0 26.0
29.0 [PM] [T]	90.0 14.8	96.0 16.9	78.0 16.8	26.0 17.3	0.0 -
32.0 [PM] [T]	90.0 14.2	96.0 14.3	78.0 16.4	44.0 17.4	0 -
34.9 [PM] [T]	74.0 16.3	66.0 16.1	20.0 15.6	0 -	0 -

Table 3. Combined effects of Temperature-Salinity on the metamorphosis rate and the planktonic larval period in zoeal prawn Macrobrachium japonicum.
[PM]: Metamorphosis rate in % , [T]: Larval period in days

Temperature		S a l i n i t y (‰)				
(°C)		7.23	13.91	20.96	27.64	34.23
23.0	[PM]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	[T]	-	-	-	-	-
26.0	[PM]	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0
	[T]	-	44.0	-	-	-
28.9	[PM]	0.0	10.0	18.0	64.0	50.0
	[T]	-	39.4	35.8	39.3	38.2
31.9	[PM]	0.0	0.0	0.0	34.0	34.0
	[T]	-	-	-	40.1	42.1
34.9	[PM]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	[T]	-	-	-	-	-

Table 4. Combined effects of Temperature-Salinity on the metamorphosis rate and the planktonic larval period in zoeal Shrimp Penaeus japonicus Bate.
[PM]: Metamorphosis rate in % , [T]: Larval period in days

Temperature		S a l i n i t y (‰)					
(°C)		19.0	25.0	31.0	37.0	43.0	48.0
13.0	[PM]	0.0	26.0	66.0	60.0	82.0	84.0
	[T]	-	5.00	5.00	5.00	5.00	5.02
18.0	[PM]	0.0	60.0	100.0	100.0	96.0	100.0
	[T]	-	4.59	4.21	4.14	4.32	4.18
23.0	[PM]	2.0	88.0	100.0	94.0	100.0	100.0
	[T]	4.00	3.20	3.21	3.09	3.04	5.00
28.0	[PM]	4.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	[T]	3.50	3.04	3.04	3.04	3.04	3.02
33.0	[PM]	0.0	96.0	100.0	94.0	92.0	86.0
	[T]	-	3.06	3.00	3.04	3.12	3.16
38.0	[PM]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	[T]	-	-	-	-	-	-

Table 5. Combined effects of Temperature-Salinity on the metamorphosis rate and the planktonic larval period in mysis Shrimp Penaeus japonicus Bate.
[PM]: Metamorphosis rate in % , [T]: Larval period in days

Temperature (℃)	S a l i n i t y (‰)					
	19.0	25.0	31.0	37.0	43.0	48.0
13.0 [PM] [T]	0.0 -	0.0 -	0.0 -	0.0 -	0.0 -	0.0 -
18.0 [PM] [T]	0.0 -	6.0 11.08	100.0 11.23	76.0 11.30	30.0 12.75	8.0 13.82
23.0 [PM] [T]	0.0 -	62.0 5.39	98.0 6.18	94.0 6.93	92.0 6.55	24.0 3.17
28.0 [PM] [T]	4.0 3.50	100.0 3.08	96.0 3.09	100.0 3.10	100.0 3.68	84.0 5.17
33.0 [PM] [T]	0.0 -	78.0 2.94	44.0 3.00	18.0 2.96	0.0 -	0.0 -
38.0 [PM] [T]	0.0 -	0.0 -	0.0 -	0.0 -	0.0 -	0.0 -

Table 6. Oxygen consumption of larval *P. serratus*. PS; (0, μ l/g·dry weight/hr), PF; (0, μ l/g·wet weight/hr)

Temperature		SALINITY						Temperature	SALINITY						
		1.3 ‰	1.9 ‰	2.5 ‰	3.1 ‰	3.7 ‰	4.3 ‰		1.3 ‰	1.9 ‰	2.5 ‰	3.1 ‰	3.7 ‰	4.3 ‰	
A. First stage															
13 °C	PS	193.05	835.83	800.38	920.91	590.02	574.45	13 °C	PS	864.57	1220.69	1282.04	992.65	929.68	854.49
	PF	41.01	177.57	170.04	195.65	125.35	122.04		PF	148.41	209.53	220.07	170.39	159.58	146.68
17 °C	PS	1015.87	1431.01	1267.29	1302.59	883.49	740.38	17 °C	PS	1294.15	1360.07	1437.39	1473.10	1268.19	1137.86
	PF	215.82	304.02	269.24	276.74	187.70	157.29		PF	222.14	233.46	246.73	252.86	217.69	195.32
21 °C	PS	1292.14	1362.63	1263.82	1416.73	1772.43	1429.06	21 °C	PS	1937.60	2041.40	2056.31	2039.97	2000.80	1834.36
	PF	274.52	289.49	268.50	300.99	376.55	303.61		PF	332.60	350.41	352.97	350.17	343.44	314.17
25 °C	PS	1620.92	1648.61	1946.25	1949.24	1893.12	1704.53	25 °C	PS	2054.23	2235.48	2411.23	2325.67	2016.63	1866.38
	PF	344.37	350.25	413.48	414.12	402.20	362.13		PF	352.62	400.89	413.80	399.21	346.16	320.37
29 °C	PS	1443.76	2245.17	2613.92	2105.88	1906.86	1796.66	29 °C	PS	1306.81	2228.68	2826.56	2535.33	2121.68	2253.65
	PF	306.73	476.99	555.33	447.40	405.11	381.70		PF	224.32	399.73	485.19	435.20	364.19	386.85
B. Second stage															
13 °C	PS	648.75	681.23	732.29	826.52	747.74	707.42	13 °C	PS	421.36	606.78	691.45	732.21	702.01	422.85
	PF	147.02	154.38	165.95	187.30	169.45	160.31		PF	77.44	111.52	127.09	134.58	129.03	77.72
17 °C	PS	904.41	1146.90	1147.09	1375.31	1129.18	1010.54	17 °C	PS	644.57	915.67	928.29	907.42	869.23	755.17
	PF	204.96	259.91	259.95	311.67	255.89	229.03		PF	118.47	168.30	170.62	166.78	159.76	138.80
21 °C	PS	1028.51	1524.17	1726.87	1742.86	1366.32	1292.39	21 °C	PS	946.23	1203.54	1370.53	1331.04	1307.27	1050.48
	PF	233.08	345.41	391.34	394.96	309.77	292.88		PF	173.91	221.21	251.90	244.64	240.27	193.07
25 °C	PS	1284.97	1594.92	1803.99	1977.99	1577.64	1585.75	25 °C	PS	1309.79	1411.89	1516.95	1485.26	1316.22	1265.30
	PF	291.20	361.44	408.82	448.25	357.52	359.36		PF	240.73	259.50	278.81	272.98	241.92	232.56
29 °C	PS	1223.09	1983.39	2128.65	2245.19	2217.04	2065.74	29 °C	PS	1114.40	1590.81	2079.77	2157.46	2066.58	1708.23
	PF	277.17	449.47	482.44	508.80	502.42	468.14		PF	204.82	292.39	382.25	396.53	379.83	313.97
C. Third stage															
13 °C	PS	628.31	1038.60	935.53	917.50	815.94	896.55	13 °C	PS	875.31	904.10	1063.39	924.76	924.03	818.23
	PF	138.29	228.59	205.90	201.94	179.58	197.33		PF	176.99	182.82	215.02	186.99	190.49	165.45
17 °C	PS	1108.87	1209.30	1186.52	1163.59	1189.39	1062.35	17 °C	PS	1157.26	1340.26	1465.56	1350.96	1318.52	1046.28
	PF	244.06	266.16	261.15	256.10	261.78	233.82		PF	234.01	271.01	296.35	273.17	266.61	211.57
21 °C	PS	1432.77	1600.75	1898.74	1618.19	1549.67	1455.86	21 °C	PS	1714.63	1802.86	1700.60	1719.42	1705.36	1248.19
	PF	315.35	352.32	417.90	356.16	341.07	320.43		PF	346.71	364.55	343.87	347.68	344.84	252.39
25 °C	PS	1906.17	1973.77	2041.11	1896.82	1724.92	1684.30	25 °C	PS	2017.19	2234.97	2141.79	1919.75	1685.73	1570.08
	PF	431.42	434.42	449.24	415.28	379.65	370.71		PF	407.89	451.93	439.09	388.19	340.67	317.48
29 °C	PS	1763.89	2320.87	2344.55	2243.69	2040.87	1764.69	29 °C	PS	1706.34	2484.40	2219.65	2004.45	1891.93	1571.28
	PF	388.22	510.81	516.02	493.83	449.18	388.40		PF	345.03	502.36	448.83	405.31	382.56	317.72

Table 7. Consumption of oxygen on the postlarvae (P25) of Penaeus japonicus in the different combinations of temperature and salinity ($\mu\ell/hr/g$ in wet weight)

Temperature	S a l i n i t y					
	19.0 ‰	25.0 ‰	31.0 ‰	37.0 ‰	43.0 ‰	48.0 ‰
5.0 °C	13.94	26.59	34.72	39.25	15.90	13.24
16.0 °C	139.38	137.46	136.83	140.48	119.71	110.82
24.5 °C	148.84	179.83	184.82	172.94	292.70	249.05
28.0 °C	115.25	239.96	238.54	233.63	344.46	291.41
35.0 °C	918.76	797.05	1050.55	1086.72	979.12	860.10

Table 8. Comparison of Q_{10} values based on Van't Hoff formula on 8 Palaemonidae species.

Species	Salinity (‰) and Q_{10} value									
	5	10	15	20	25	30	35	40	%	
<i>P. serratus</i> (1st molt)			1.58	1.55	1.51	1.50	1.50	1.50	1.49	
<i>P. serratus</i> (2nd molt)			1.41	2.03	1.94	1.96	1.98		1.71	
<i>P. serratus</i> (3rd molt)			2.31	1.76	2.07	2.07	2.07	2.07	2.50	
<i>P. serratus</i> (4th molt)			2.56	1.94	2.16	2.08	2.13		2.62	
<i>P. serratus</i> (5th molt)			2.54	1.80	1.60	2.14	2.14	2.14	2.61	
<i>P. serratus</i> (metamorphosis)			2.24	1.76	1.88	1.89	2.08	2.08	2.52	
<i>P. pacificus</i> (metamorphosis)				1.27	1.11		1.08			
<i>P. arimanni</i> (metamorphosis)		1.08	1.37		1.04		1.22			
<i>P. serrifer</i> (metamorphosis)		1.05	1.35		1.42		1.19			
<i>P. macroductylus</i> (metamorphosis)	0.98	1.23	1.54		1.41		1.59			
<i>M. rosenbergi</i> (metamorphosis)			2.47	1.93	1.39	1.45				
<i>M. nipponensis</i> (metamorphosis)	2.84		2.35		1.63		1.75			
<i>M. japonicum</i> (metamorphosis)			1.47		1.23		1.12			

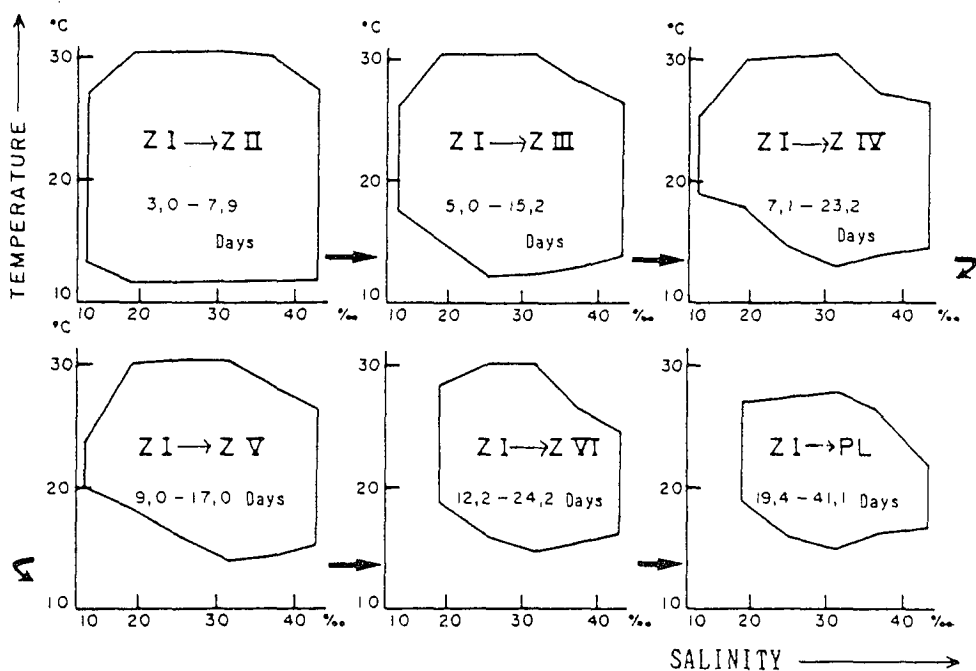


Fig.1. Diagram displaying decreasing thresholds as a function of different temperature-salinity combinations which permit a minimum of 50 % survival rate for each molt and all metamorphosis for *Palaemon serratus* larvae.

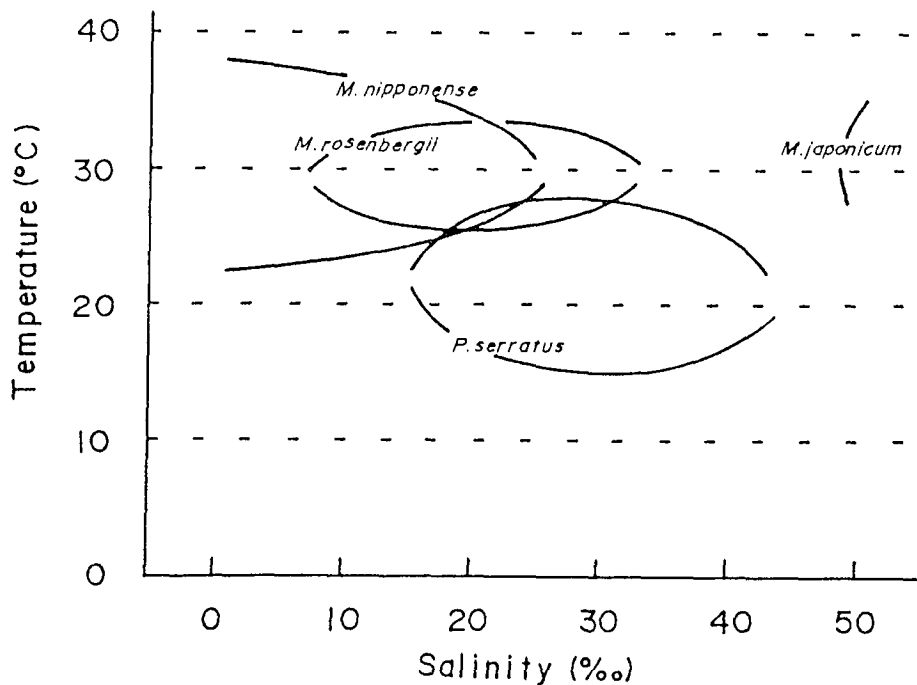


Fig.2. Comparison with 50 % survival regions between *Palaemon serratus* and 3 *Macrobrachium* species in different combinations of temperature-salinity.

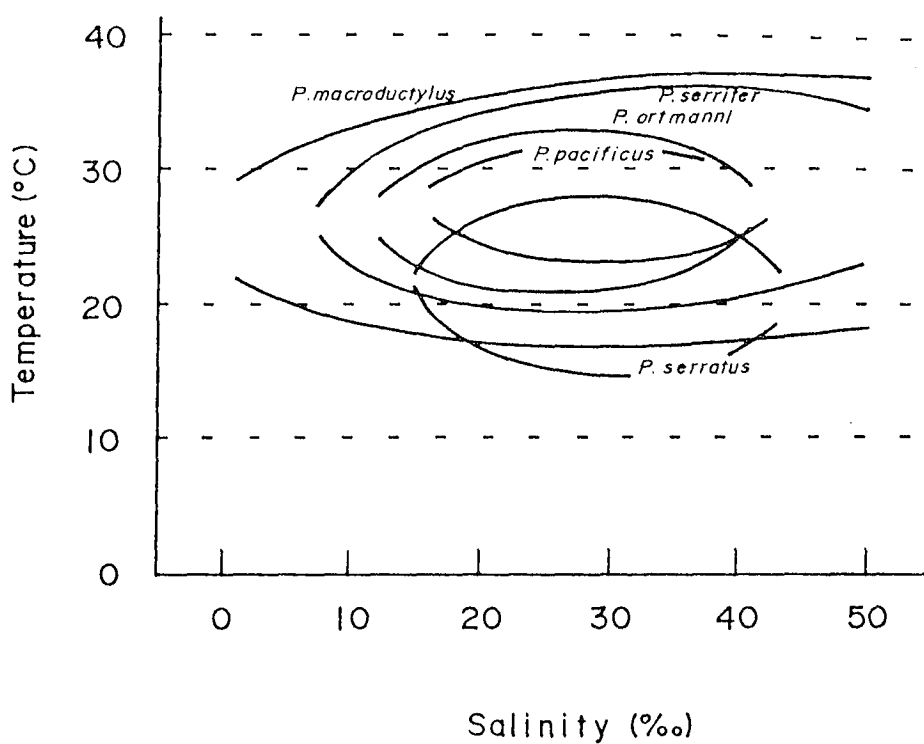


Fig.3. Comparison of 50 % survival regions between *Palaemon serratus* and 4 japanese *Palaemon* species in different combinations of temperature-salinity.

審査結果の要旨

本論文は有用甲殻類のクルマエビ、オニテナガエビ、テナガエビ、ヤマトテナガエビおよびヨーロッパスジエビを材料とし、一定実験条件下に飼育管理し、各成長段階における種々の環境条件の主たる制限要因、たとえば水温、塩分、pHなどの相互的複合的影響を数理統計処理を行い、三次元立体モデル化を試み表現した。

まず、成長と生残についてはレスポンス・サーフェース法により、広い塩分濃度範囲の実験群を設定、頭胸甲長による成長率と生残率を指標とし、温度、 Q_{10} 値との関係式を求め、図型パターンから甲殻類の養殖生態の類型化を行った。

同様の手法によって、クルマエビについては酸素消費量、アンモニア排泄量についても複合影響の動態を解析した。

さらに本論文では、それぞれのエビの種類において生物特性を体系的実験条件下に精密に数値化したなかで、最適条件については、成長と生残についてそれぞれ異なるオプチマルポイントが存在すること、および温度、塩分、pH間に生残と成長の最適組合せがそれぞれ存在することを指摘した。

これらの精力的作業は言い易くして行い難いもので、本論文に示された多数の数理統計資料は、今後展開発展をみるべきエビ養殖の近代化、就中、シミュレーション化に役立つところ大なるものと思料される。

よって、ここに審査員は本論文に対し、農学博士の学位を授与するに充分値するものと判定した。